

PAT-NO: JP406224510A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06224510 A
TITLE: LIGHT EXCITING WAVEGUIDE TYPE SOLID-STATE
LASER AND ITS PRODUCTION
PUBN-DATE: August 12, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

KATO, YUJIRO

SUGIMOTO, NAOTO

SHIBUKAWA, ATSUSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP05012282

APPL-DATE: January 28, 1993

INT-CL (IPC): H01S003/16, H01S003/06

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a highly efficient light exciting waveguide type solid-state laser and its production method where the control of oscillation frequency and narrowing of oscillating line width can be established at the same time.

CONSTITUTION: The title laser is composed of a YAG crystal or a displacement type YAG crystal where a part of composition elements other than an oxygen in the YAG crystal is displaced with at least one element having equivalent valence, and a three-dimensional waveguide 11 that is provided with a core 12

where at least one of trivalent Nd, Ho, Er, and Tm or tetravalent Cr is included as an active ion is hybrid-connected in series with a quartz waveguide 13 having a diffraction grating 15 as an external resonator through a reflection preventive film 16. Thus, when a pumping light is made incident from the outside, the active ion in the core 12 is excited to generate fluorescence, and only the desired infrared light thereof is excited to generate single-mode laser beam with narrow line width.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-224510

(43)公開日 平成6年(1994)8月12日

(51)Int.Cl.⁵

H01S 3/16

3/06

識別記号

庁内整理番号

8934-4M

8934-4M

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全6頁)

(21)出願番号 特願平5-12282

(22)出願日 平成5年(1993)1月28日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 加藤 雄二郎

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 杉本 直登

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 渋谷 篤

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

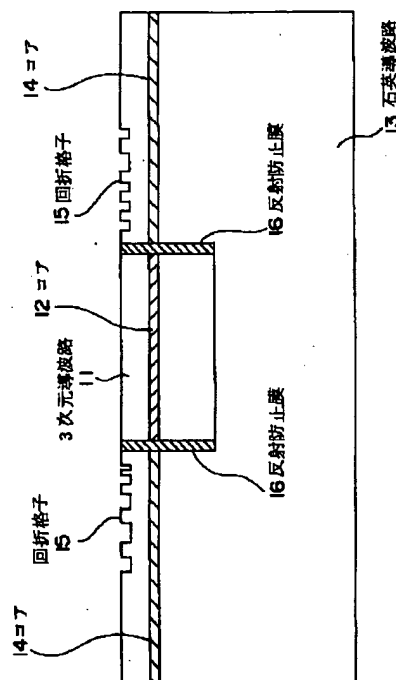
(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

(54)【発明の名称】 光励起導波路型固体レーザ及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】 発振周波数の制御と発振線幅の狭線化とを同時に達成し得る高効率の光励起導波路型固体レーザ及びその製造方法を提供する。

【構成】 YAG結晶または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型YAG結晶で構成され、Nd、Ho、Er、Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含むコア12を備えた3次元導波路11と、外部共振器として回折格子15を備えた石英導波路13とを、反射防止膜16を介して直列にハイブリッド接続したことにより、外部から励起光が入射されると、コア12中の活性化イオンが励起されて蛍光が生じ、そのうちの所望する赤外光のみが回折格子15で励振され、単一モードで狭線幅のレーザビームが発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 $Y_3Al_5O_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶(YAG結晶)または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶(置換型YAG結晶)で構成され、Nd、Ho、Er、Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含むコアを備えた3次元導波路と、外部共振器として回折格子を備えた石英導波路とを、反射防止膜を介して直列にハイブリッド接続したことを特徴とする光励起導波路型固体レーザ。

【請求項2】 $Y_3Al_5O_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶(YAG結晶)基板または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶(置換型YAG結晶)基板の上に、Nd、Ho、Er、Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとするガーネット結晶膜を液相エピタキシャル成長法(LPE法)により形成し、

前記ガーネット結晶膜をアルゴンイオンビームエッチング法により加工してコアを形成し、

該コアを形成したYAG結晶基板または置換型YAG結晶基板の上に該YAG結晶基板または置換型YAG結晶基板と同一組成の結晶膜をLPE法により形成して3次元導波路となし、

その後、該3次元導波路の両端面を光学研磨して反射防止膜を形成し、

一方、石英基板に、石英導波路の形成技術を用いて、回折格子、コア及び前記反射防止膜を備えた3次元導波路を嵌め込むための溝を形成して石英導波路となし、

最後に、石英導波路の溝に反射防止膜を備えた3次元導波路を、コア同士の位置決めを行って嵌め込むようにしたことを特徴とする光励起導波路型固体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光励起導波路型固体レーザ、特に赤外光の光源として光通信等に利用される光励起導波路型固体レーザ及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図2は従来のこの種の光励起導波路型固体レーザの一例を示すもので、バルクの光学結晶の両端面を光学研磨したレーザロッド1の両側に誘電体等で構成されるミラー2を配置し、一方のミラー2の外側から各種レーザあるいはフラッシュランプ等により励起光ビーム3を照射することによって、他方のミラー2からレーザビーム4を取り出すようにしたものであった。

【0003】しかしながら、前述した従来の光励起導波路型固体レーザでは、バルク結晶を用いるため大型になり、また、加工に時間を要するため高価になるという問題があるとともに、現在、必要とされている単一モードでの励振が困難であるという問題があった。

【0004】前述した問題を同時に解決する手段として、バルク結晶の代わりに光を狭い領域に閉じ込める導波構造を有する単結晶ファイバあるいは平面型導波路を用いることが考えられる。

【0005】しかしながら、単結晶ファイバの場合、現在のファイバ作成技術では、予めクラッドを形成しておいて光を閉じ込める領域であるコアとその周りにコアよりわずかに屈折率を小さくしてコアに光を閉じ込める役割を果たすクラッドを同時に線引きする手法がなく、線引き後にクラッドを形成するのが困難であるため、閉じ込めの効果が十分でないという問題があり、また、ファイバの直径が約 $10\mu m$ 程度であるため、ハンドリングが困難であるという問題もあった。このため、現在、最も有望なのは光学結晶を用いて3次元導波路を形成したものである。

【0006】各種の光学結晶の中で、3次元の平面型導波路の形成技術が確立されているのは、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムあるいはチタン酸バリウム等の電気光学結晶についてのみである。これらは、例えばチタン等を一部に拡散させたり、プロトン交換を一部に行ったりすることにより、屈折率をその部分だけ周よりわずかに大きくすることによって3次元導波路とすることができる。

【0007】電気光学結晶による導波路は光変調器や光スイッチに用いられているが、以下のようにいくつかの欠点を有する。まず、結晶そのものの品質が十分でなく、性能が不安定となり易い。例えば、光変調器の場合、変調信号に対して動作点が時間とともに変動する、いわゆるドリフトが問題になることがある。また、電気光学結晶特有の焦熱効果により、加工プロセス中の温度上昇に対して内部歪みが発生し、結晶基板の破壊につながる可能性がある。さらにまた、拡散やプロトン交換によって形成し得る導波路のコア径は約 $9\mu m$ 程度であり、高効率でレーザ発振をさせるにはやや大きい。

【0008】これらのことから、光励起導波路型固体レーザ用の光学結晶材料の中で、3次元の平面型導波路を形成して高効率のレーザとなり得るものとしては、現在、大型の固体レーザとして幅広い分野で用いられている、 $Y_3Al_5O_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶(YAG結晶)等のガーネット結晶が挙げられる。ガーネット結晶は等方的で良質な結晶成長技術が確立されており、レーザダイオード励起による室温連続発振も容易である。また、ガーネット結晶は高硬度で化学的に安定であるため、3次元導波路への加工技術に問題があったが、近年、加工用のマスクに十分

な耐性を持たせてイオンビームエッチング法を適用することにより、3次元導波路に十分な約 $5\mu\text{m}$ 程度の深さまで加工できるようになってきている。

【0009】

【発明を解決しようとする課題】ところが、たとえガーネット結晶を用いて3次元の導波路を形成したとしても、ガーネット結晶に直接、回折格子を形成するだけの加工技術が開発されていないため、現在は導波路の端面に誘電体等で構成されるミラーを形成して共振器を構成するものしか考えられておらず、発振周波数の制御や発振線幅の狭線化に依然として問題があった。

【0010】本発明はこのような問題点に鑑み、発振周波数の制御と発振線幅の狭線化とを同時に達成し得る高効率の光励起導波路型固体レーザー及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明では前記目的を達成するため、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶（YAG結晶）または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶（置換型YAG結晶）で構成され、Nd, Ho, Er, Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含むコアを備えた3次元導波路と、外部共振器として回折格子を備えた石英導波路とを、反射防止膜を介して直列にハイブリッド接続した光励起導波路型固体レーザーを提案する。

【0012】また、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶（YAG結晶）基板または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶（置換型YAG結晶）基板の上に、Nd, Ho, Er, Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとするガーネット結晶膜を液相エピタキシャル成長法（LPE法）により形成し、前記ガーネット結晶膜をアルゴンイオンビームエッチング法により加工してコアを形成し、該コアを形成したYAG結晶基板または置換型YAG結晶基板の上に該YAG結晶基板または置換型YAG結晶基板と同一組成の結晶膜をLPE法により形成して3次元導波路となし、その後、該3次元導波路の両端面を光学研磨して反射防止膜を形成し、一方、石英基板に、石英導波路の形成技術を用いて、回折格子、コア及び前記反射防止膜を備えた3次元導波路を嵌め込むための溝を形成して石英導波路となし、最後に、石英導波路の溝に反射防止膜を備えた3次元導波路を、コア同士の位置決めを行って嵌め込むようにした光励起導波路型固体レーザーの製造方法を提案する。

【0013】

【作用】本発明装置によれば、石英導波路を介して外部から励起光が3次元導波路に入射されると、3次元導波路のコア中の活性化イオンが励起されて蛍光を生じるが、そのうちの所望する赤外光のみが回折格子で反射されて励振され、単一モードで且つ狭線幅のレーザービームとして取り出される。

【0014】本発明方法によれば、液相エピタキシャル成長法及びアルゴンイオンビームエッチング法により、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶（YAG結晶）または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶（置換型YAG結晶）で構成され、Nd, Ho, Er, Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含むコアを備えた3次元導波路が作製され、また、石英導波路の形成技術により、外部共振器として回折格子を備えた石英導波路が作製され、前記3次元導波路の両端面に反射防止膜を形成して石英導波路の溝に嵌め込むことにより、光励起導波路型固体レーザーが作製される。

【0015】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されない。

【0016】図1は本発明の光励起導波路型固体レーザーの一実施例を示すものである。図中、11は $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶（YAG結晶）または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶（置換型YAG結晶）で構成された3次元導波路、12はNd, Ho, Er, Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含む、3次元導波路11のコアである。また、13は平面型の石英導波路、14はそのコアであり、該石英導波路13の上面には回折格子（グレーティング）15が形成されている。また、16は3次元導波路11の発振光に対する反射防止膜である。

【0017】前記構成において、石英導波路13のコア14を通して外部から励起光、例えばアルミニウム・ガリウム・砒素レーザーダイオードからの $0.81\mu\text{m}$ の赤外光を3次元導波路11のコア12に入射すると、コア12中に存在する、Nd, Ho, Er, Tmの3価あるいはCrの4価の活性イオンのいずれかが励起され、所望する波長の赤外光を含む蛍光が生ずる。この蛍光のうちの所望する赤外光のみが回折格子15で反射されて励振されることにより、単一モードで狭線幅のレーザービームが発生する。なお、反射防止膜16は、いわゆるファブリペロー共振を押える作用を行う。

【0018】図3は本発明の光励起導波路型固体レーザーの製造方法の一実施例を示すもので、以下、図面に従っ

て説明する。

【0019】まず、直径2インチ(約5cm)で厚さが約400 μ mのイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶(YAG結晶)基板(111)方位で鏡面仕上げ)21の上に、Nd(ネオジウム)イオンを活性イオンとし、格子定数がYAG結晶基板21と一致するように制御され且つ屈折率がYAG結晶基板21よりもわずかに大きくなるよう制御された厚さ約4 μ mのY_{3-x-y}Nd_xLu_yAl_{15-z}Ga_zO₁₂(0<x, y, z<1)ガーネット結晶膜22を、PbO及びB₂O₅を融剤とする液相エピタキシャル成長法(LPE法)により形成する(図3(a))。

【0020】次に、前述したガーネット結晶膜22をアルゴンイオンビームエッチング法により断面が約4 μ m×4 μ mとなるように加工し、コア12を形成する(図3(b))。

【0021】次に、YAG結晶基板21と同一組成のY₃Al₅O₁₂結晶膜による上部クラッド23をLPE法により約10 μ mの厚さに形成し、約1cmの長さにて切断して3次元導波路11を作製し、その後、その両端面を光学研磨し、該両端面に反射防止膜16を形成する(図3(c))。

【0022】一方、直径3インチで厚さ約1mmの石英基板に、石英導波路の形成技術を用いて、1.319 μ m帯域用のミラーとして作用する回折格子15、約4 μ m×4 μ mのコア14及び反射防止膜16を備えた3次元導波路11を嵌め込むための溝24を形成し、約3cmの長さにて切断後、端面を研磨して石英導波路13を作製する(図3(d))。

【0023】最後に、石英導波路13の溝24に反射防止膜16を備えた3次元導波路11を、コア12及び14の位置決めをきちんと行って嵌め込むことにより、図1に示したような光励起導波路型固体レーザを作製した。

【0024】前述した如くして作製した光励起導波路型固体レーザの片側の端面から、励起光としてAlGaAsレーザダイオードより0.81 μ mの赤外光を入射したところ、中心波長1.319 μ mで線幅が約100MHzの狭線幅の発光が得られた。また、しきい値は1mW以下で効率は0.4mW/mWと高効率であった。

【0025】また、3次元導波路11のコア12中の活性イオンとして、それぞれ3価のHoイオン、Erイオ

ン、Tmイオン及び4価のCrイオンを選んだものを、図3と同様の製造方法を用いて、図1に示したような光励起導波路型固体レーザを作製した。

【0026】これらの光励起導波路型固体レーザを、それぞれ1.06 μ m(端面に誘電体ミラーを形成したネオジウム置換型YAG結晶レーザ)、0.98 μ m(歪量子井戸レーザ)、1.06 μ m及び0.81 μ m(AlGaAsレーザダイオード)の励起光で励起してしきい値を測定したところ、全て1mW以下の励起光入力で発振する高効率であった。また、外部共振器を構成する回折格子を適宜選ぶことにより、それぞれ2.0~2.1 μ m、1.53 μ m、1.47 μ m及び1.3~1.6 μ mの波長領域において100MHz以下の線幅で発振していることが確認できた。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように本発明装置によれば、Y₃Al₅O₁₂で示されるイットリウム・アルミニウム・ガーネット結晶(YAG結晶)または該YAG結晶の酸素以外の構成元素の一部を等価な価数を有する少なくとも一種類の元素で置き換えた置換型ガーネット結晶(置換型YAG結晶)で構成され、Nd、Ho、Er、Tmの3価あるいはCrの4価の元素のイオンのうちの少なくとも一種類を活性イオンとして含むコアを備えた3次元導波路と、外部共振器として回折格子を備えた石英導波路とを、反射防止膜を介して直列にハイブリッド接続したため、単一モードで狭線幅のレーザビームを高効率で発生でき、また、回折格子を選択することによって発振周波数を制御できる。

【0028】また、本発明方法によれば、発振周波数の制御と発振線幅の狭線化とを同時に達成し得る高効率の光励起導波路型固体レーザを確立された技術により作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光励起導波路型固体レーザの一実施例を示す構成図

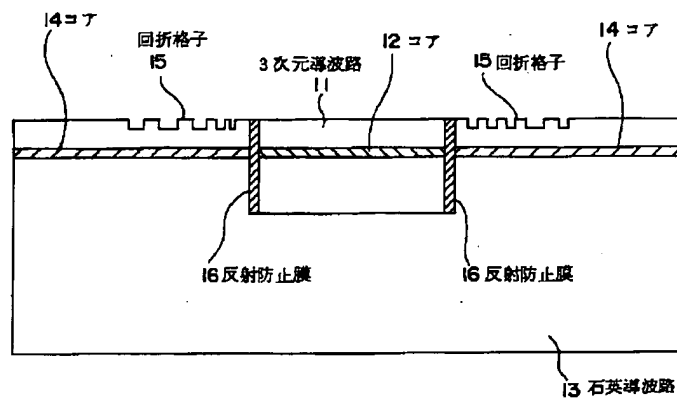
【図2】従来の光励起導波路型固体レーザの一例を示す構成図

【図3】本発明の光励起導波路型固体レーザの製造方法の一実施例を示す工程図

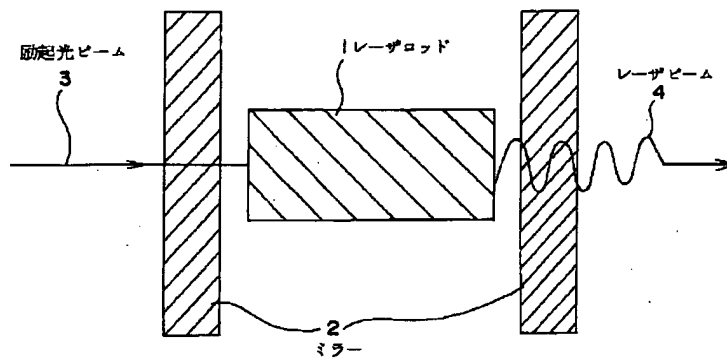
【符号の説明】

11…3次元導波路、12…3次元導波路11のコア、13…石英導波路、14…石英導波路13のコア、15…回折格子、16…反射防止膜。

【図1】



【図2】



【図3】

